

系列パターン学習のパラメータ適応制御

調枝 孝治, 橋本 晃啓, 北村 靖治

広島大学総合科学部保健体育講座

(1987.10.31 受理)

Parameter Adaptive Control in Serial Pattern Learning

Koji CHOSHI, Akihiro HASHIMOTO, and Seiji KITAMURA

Abstract

The present experiment examined the processes which serve to adapt the movements to a changing structural parameter using the tracking task of serial patterns. Two kinds of changes in the structural parameters were dealt with here : those were (1) ISI change and (2) serial position change.

Subjects were 20 right-handed male undergraduate students. They were randomly assigned to two groups (nonadaptive and adaptive group) with ten subjects in each group. The serial patterns for the two groups were as follows : nonadaptive group (251364→251364); adaptive group (251364→251346). In addition, both groups received a changed ISI (800msec→500msec) at the initial phase. The instructions emphasized that the task was repeated until each serial patterns had completed perfectly with an anticipatory response.

The results showed that under the final acquisition phase both groups significantly increased the anticipatory response and reduced the corrective response. In both groups, the percentage of anticipatory response for the initial transfer phase significantly decreased compared to the final acquisition phase. Furthermore, in the initial transfer phase, the adaptive group showed more significant decrease in the anticipatory response than in the unadaptive group. These findings were discussed from the viewpoint of the order through fluctuation.

緒 言

人間の運動学習を環境に対する適応系 (adaptive system) と考えて研究する場合、これまで調枝(1981)²⁾, (1982)³⁾, (1985)⁴⁾は、二つの制御過程を問題にしてきた。そのひとつは最適制御過程である。これは、ある運動課題を習得する場合に目標値と実現値の偏差をできるかぎり減少させようとする制御過程である。そこででの必要な操作は、誤差検出—誤差修正であり閉回路のネガティブ・フィードバックを用いて、系の「自己安定機能」をめざすことに重点が置かれている。これを「機能的適応」とも呼ぶが、これまでに公にされた数多くの運動学習の成果は、大部分とっていいほど最適制御過程を問題にしたものである。

次に問題となる制御過程は適応制御過程である。これは、最適制御過程でそれぞれの運動機能を自己安定化させた既習能力を新しい変化事態へ適用する能力の習得段階をさし、そこでの重要な役割は、ポジティブ・フィードバックによる構造の変化が検討の対象になるものである。つまり、既存の組織化された行動パターンを変化させた方が、より高次の運動課題を解決するのに有効な場合の制御過程で、これを「構造的適応」と呼ぶ。このような適応制御過程の研究は、主として制御工学の分野では多く行なわれているが、^{7),9),10),13),14)}人間の運動制御を対象とする分野ではこれからというのが現状である。

調枝(1981)²⁾、(1982)³⁾、(1985)⁴⁾は、系列パターンの追従課題を用いて二つの制御過程を検討した。そこで設けられた実験パラダイムは、まず最初に提示された運動課題を安定な系にする最適制御過程(習得段階)があり、その後その安定系を基礎に新しい「変化」のある運動課題に直面し、その変化事態にいかに対応するかという適応制御過程(転移段階)が設けられるという「学習の転移」パラダイムであった。また、適応制御過程での「変化」は系列パターンの系列位置が主として変化させられた。そして、4つのパフォーマンス測度(正反応、見越反応、誤反応、無反応)から両制御過程の分析を行なった。その結果、まず4つのパフォーマンス測度の発生順序は、無反応→誤反応→正反応→見越反応という順序で反応の出現確率が增大することが明らかになった。これまでの運動学習の代表的測度は正確性(エラー反応)と速度(反応時間、動作時間)であるが、4つのパフォーマンス測度を用いることにより、学習過程の質的变化をより詳細に観察することができることが判明した。これは、学習が進むにしたがって各反応測度間で相転移が生起することを意味する。そのため、学習者の課題解決への注意の集中も当然各反応測度で相転移することが考えられる。4つのパフォーマンス測度から「変化」を処理する適応群の特徴をみると、まず最適制御過程の後期段階では増大していた安定な正反応を減少させて、その代りに見越反応の増大で不安定になる。そして、系列位置の「変化」させられた適応制御の初期段階では、見越反応を減少させ、その代りに正反応でうまく新しい変化事態に適応するという、いわゆる「相補性(complementarity)」が見られた。この反応測度間に見られる相補性は、両制御過程でみられるが、特に学習環境が変化した適応制御過程の初期段階では劇的な効果が出現する。これらは、見越反応の減少—正反応の増大、正反応の減少—誤反応の増大、見越反応の減少—無反応の増大、無反応の減少—正反応の増大といった相補関係である。このような反応測度間にみられる相補関係は、運動学習における speed-accuracy tradeoff の問題とも深く関係した内容をもっている。しかし、相補性の問題は主として行動発達の質的側面を表わす「複雑性」のレベルを明らかにするという点で、今後独立に検討が要求されるものである。

さて、このような反応測度間の相補性が運動学習におけるスキルの習得レベルを向上させる学習戦略のひとつと考えられるが、さらに運動制御の階層性の段階のほりに貢献していると考えられるメカニズムが別にある。それは「ゆらぎを通しての秩序」(order through fluctuation)である。

系列パターンの追従課題において、最適制御過程から適応制御過程へと転移した場合、系列位置の変化がある。この微小な系列位置の変化は既存の秩序パターンにゆらぎを生じさせる。そのため、転移後の初期段階ではその系が不安定になる。しかし、問題はこの系列位置の「変化」部分において、転移後の後期段階で以前よりも組織化の進んだレベルの見越反応が出現し、その再組織化過程が認められるという点である。

古い構造→不安定→新しい構造とつづく循環回路は、運動学習の発展過程を表現する回路であるが、この古い構造(安定した秩序)に微小なゆらぎ(ノイズ)を導入し、⁸⁾その系を不安定にする。しかし、その微小なゆらぎが引金になって新しい秩序が増幅されるという過程も運動制御のレベルを向上させることに大きな役割を演じていると考えられる。

運動学習を適応系として研究していく場合、最適制御過程と適応制御過程を検討してきたが、よく考えてみると、適応制御過程における「ゆらぎを通しての秩序」は単なる外部パラメータの変化に対する適応を越えた「自己組織化」現象に相当する内容が含まれていることに気づく。そこで、もっと適応の概念を整理する意味で高原(1985)¹⁵⁾の論述を参考にすることが必要である。

高原によると、環境適応にはつぎの三つが考えられる。その第1は、構造変化はまったく起こさず、操作変数を変化させることによって行う環境適応で、これをフィードバック制御と呼ぶ。第2はメタ構造を変化させないが、構造を規定するパラメータを調整することによって行う環境適応で、これを適応制御と呼ぶ。さらに第3はメタ構造すらも変化させる環境適応で、これを自己組織化と呼ぶ。そして、これらをすべて適応の側面からみると、フィードバック的適応、調整的適応、自己組織適応とも呼べるものである。そして、これまで系列パターンの追従課題で検討してきた最適制御過程がフィードバック的適応に、また適応制御過程は調整的適応に相当するものである。そして、これらの両制御過程とともに、環境変化に対して現状維持的機能をめざしたネガティブ・フィードバック的機能を強化するということである。それに対して、予期以上の構造変化に対処するという自己組織適応はポジティブ・フィードバックにより、現状の構造からできるだけ早く遠ざかろうとする制御である。ここにおいて、適応制御過程と自己組織制御過程はどちらも「構造変化」を行って環境変化に対処するという点で類似点があるといえよう。しかし、高原が指摘するとおり、適応制御過程は予想範囲内での環境入力変化(構造パラメータの小さな変化)に対して、今までの評価基準からみて許容される範囲内に構造変化をとどめるものであり、他方、予想を越えた環境入力変化のため、今までの評価基準による許容範囲にもとれないとき、新しい評価基準において許容される構造に変化させるものが自己組織制御過程であることを考えれば、これまでの適応過程の分析は適応制御過程を対象にしていたことがわかる。それにもかかわらず、「ゆらぎを通しての秩序」現象がみられたことは興味ある点である。その原因としては、系列パターンを完全に見越反応で完了するという実験上の要求があげられる。なぜなら見越反応はポジティブ・フィードバックの機能を内在させているからである。さらに考えられる原因としては、構造パラメータである系列位置や刺激提示間隔(I S I)の速度、試行数などの変化が系列の秩序化に貢献しているというものである。そこで、本研究では、これまで独立に検討されてきた構造パラメータを相互に関連づけて導入した場合、適応制御過程のパフォーマンスがいかなる特徴を示すかを検討することにした。つまり、系列パターンの刺激提示間隔と系列位置の変化にどのように適応するかを検討する。

研究 方 法

〔被験者〕被験者は大学生男子20名(19～22歳)。各被験者は10名ずつランダムに適応事態群と非適応事態群(以後、適応群、非適応群と呼ぶ)に割当てられた。両事態の系列追従パターンはつぎのとおりである。非適応群：最適制御過程(習得段階)2 5 1 3 6 4→適応制御過程(転移段階)2 5 1 3 6 4。適応群：最適制御過程(習得段階)2 5 1 3 6 4→適応制御過程(転移段階)2 5 1 3 4 6。各被験者は、両制御過程をすべて見越反応で追従できるまで、系列をくりかえすことが要求された。(非適応群は、構造パラメータとしてのI S Iが変化させられているので厳密な意味では適応群であるが、ここでは非適応群と呼ぶ)

〔実験装置と測定〕実験装置は、Fig. 1に示してある系列反応装置を用いた。これを説明すると、被験者の前方70cmの位置に合図の刺激(ブザー音)と6つの刺激表示ボックスが左から右へ10cm間隔で並べられている。これらの刺激ライト(発光赤色ダイオード)に対して、被験者の手もとに反応器(タッチスイッチ)が左から右へと、やはり10cm間隔で6つ並べられている。そして、

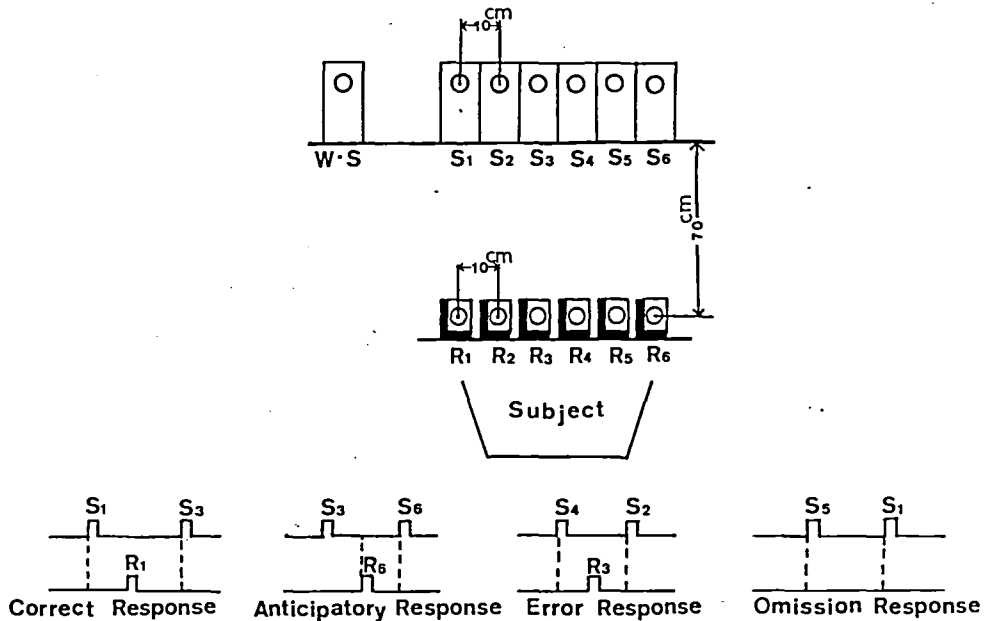


Fig.1 Experimental situations and four performance measures

刺激点灯時間は100msec。両群に対して I S I は最適制御過程で800msec、適応制御過程で500msec で提示された。また、4つのパフォーマンス測定は、Fig. 1 に示してある正反応、見越反応、誤反応、無反応が分析の対象にされた。

〔実験手続〕非適応群の被験者は、最適制御過程と適応制御過程で追従すべき系列パターンは同じものである。そして、構造パラメータとしての I S I のみを変化させられた群である。彼らはまず、I S I が800msec で最適制御過程の2 5 1 3 6 4 を完全に見越反応で完了するように追従反応し、その後被験者には知られないように、自動的につぎの制御過程では、I S I が500msec で同じ系列パターンが表示され、それも完全に見越反応で追従する課題を行なった。他方、適応群の被験者は、最適制御過程では I S I が800msec で非適応群と同じ系列パターンを追従し、その後適応制御過程では I S I が500msec で2 5 1 3 4 6 と系列の最終部分が変化している系列パターンを追従した。適応群も非適応群と同様に、両系列パターンを完全に見越反応で完了することが要求された。この場合、両群の被験者に対して、刺激ライトの点灯を予測しながら、見越反応を生起させるように反応器に右手の人差指でタッチするように要求された。なお、1系列を追従したものを1試行とした。

結果と考察

構造パラメータとしての I S I のみを変化させられた非適応群と I S I と系列位置の両構造パラメータを変化させられた適応群の各10名の被験者が、最適制御過程 (Pattern 1) → 適応制御過程 (Pattern 2) で両系列パターンを完全に見越反応で完了するまでに要した試行数の平均値と標準偏差値が Table 1 に示してある。これをみると、両群とも最適制御過程より適応制御過程の方が平均試行数は少ないが統計的には有意でない。両群間の平均試行数について比較したが、

Table. 1 Means and Standard Deviations of Trials to Criterion for Each of the Two Patterns in the Two Groups

Group	Nonadaptive		Adaptive	
Pattern	1→2		1→2	
Subject	N=10		N=10	
A	19	40	14	7
B	31	46	7	19
C	64	9	7	5
D	16	5	46	68
E	17	62	14	30
F	20	14	30	25
G	14	4	4	10
H	5	39	35	5
I	79	28	57	18
J	46	20	25	17
Sum	311	267	239	204
Mean	31.1	26.7	23.9	20.4
S D	24.2	19.6	18.0	18.7

これも統計的に有意な差は見出されなかった。ただ、Table 1 を見てわかるとおり、個人間の差は大きいことがわかる。そのため、両群の特徴を比較するために両制御過程を初期段階 (initial phase) と後期段階 (final phase) に分けた。すなわち、それぞれの段階の3 試行ずつをとりあげ、それらについて10名の反応出現率を検討することにした。分析にあたっては、4つのパフォーマンス測度が用いられた。そして、それぞれの比率が計算されたが、この比率で示された値は、その後の統計的検定のための角変換 ($X' = \sin^{-1}\sqrt{P}$) して、群と系列位置の2要因の分散分析を行なった。

〔正反応〕両群の正反応の結果は Fig. 2 に示してある。まず最適制御過程では、初期段階で群 ($F(1,5) = 7.63, P < .05$) のみで有意な差がみられた。つまり、適応群の方が非適応群よりも正反応を多く出現させている。後期段階では両群間に有意な差はなく、両群とも正反応は

初期段階と比較して減少している。この段階での正反応の減少は見越反応の増加という反応測度

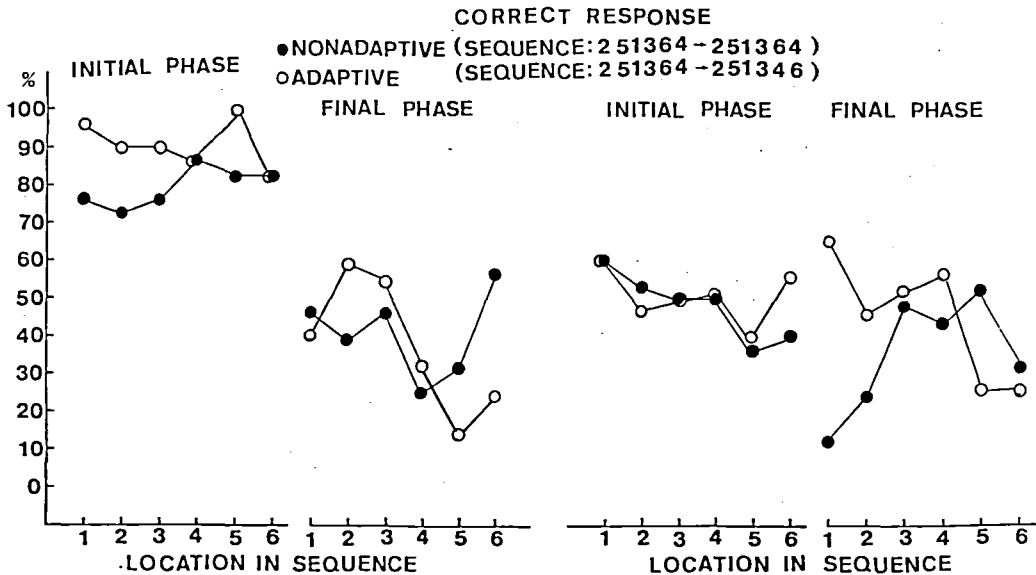


Fig.2 Percentage of correct responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

間の相補関係がこの実験でも見出された。この状態ですべての系列パターンが全て見越反応で完

了し、つぎの適応制御過程に移行する。そこでつぎに、転移段階の初期段階を検討すると、系列位置 ($F(5,5)=9.87, P<.05$) のみが有意であった。また後期段階も両群間と系列位置に関して差は認められなかった。以上の結果から、正反応の群間の比較では、最適制御過程の初期段階のみに有意な差が見出されただけで、それ以降の学習過程では両群間に著しい特徴は認められなかった。

では群内の変化を検討してみることにする。Fig. 1 をみてもわかるとおり、最適制御過程の初期段階と後期段階において、適応群 ($F(1,5)=42.80, P<.01$) と非適応群 ($F(1,5)=29.37, P<.01$) は各段階間に有意な差を示した。これらの結果はすでにふれたとおり、見越反応の増大で理解がつく。そして、その後の各段階間と系列位置には何ら差は見出されず、両群とも同じような変化を示していた。本実験では、適応制御過程での初期段階で系列位置とISIがパラメータ変更をしている。その意味からすれば、適応群の正反応のレベルがもう少し低下してもよいと考えられるが、構造パラメータとしてのISIのみが変化させられた非適応群と同じレベルで転移している。その意味からすれば見越反応の減少による正反応での適応というこれまでの結果と同じ過程が出現していると考えてもよからう。しかし、そのことを言うためには、見越反応の結果を検討しなければならない。ただ、これまでの研究とちがって、最適制御過程のISIは500msec から800msec と比較的系列パターンを追従し易い条件である。そのため、両群とも初期段階の正反応は相当レベルが高くなっている。この効果も無視できない点である。

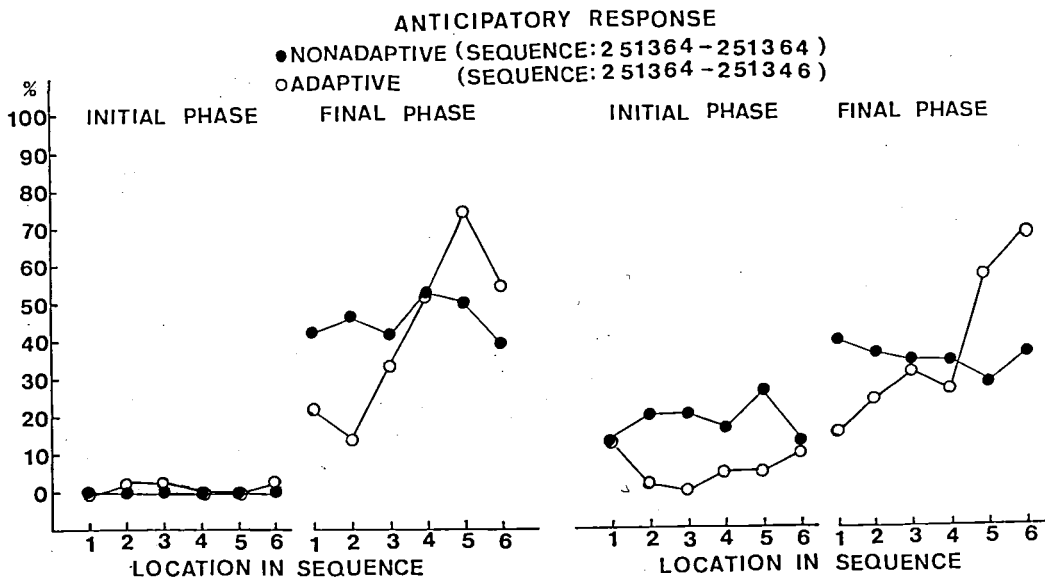


Fig.3 Percentage of anticipatory responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

〔見越反応〕両群とも両制御過程で系列パターンを完全に見越反応で完了するという課題を要求されているため、当然ながらこの課題での最終目標を達成するため学習の進行にしたがって見越反応は増大する。その結果が Fig. 3 に示してある。まず、両群間の比較をすると、最適制御過程の初期段階では両群とも見越反応はゼロに近い。それが後期段階では、両群とも見越反応を増

大させ両群間に差は見出されない。ただ、適応群の方が非適応群よりも系列位置に変化があることがわかる。その後、その系列を完全に見越反応で完了し、構造パラメータである I S I と系列位置が変化させられた適応制御過程の初期段階では、両群 ($F(1,5)=8.73, P<.05$) に有意な差が見られ、適応群の方が非適応群より、見越反応の減少は著しい結果となった。調枝^{3),4)}のこれまでの研究では、構造パラメータの変更は系列位置のみであった。しかし、本研究ではこれに I S I の変化が加わっているため、適応群の見越反応の低下レベルは、これまでの研究のものよりも低いことが判明した。さらに、適応制御過程の後期段階では、両群間には有意な差は見出されなかったが、系列位置の変化部分では適応群の方が非適応群より見越反応が多かった。

つぎに群内の変化を検討する。まず非適応群の最適制御過程における初期段階と後期段階では、段階 ($F(1,5)=1197.50, P<.01$) に有意な見越反応の増大が認められた。そして、最適制御の後期段階と適応制御の初期段階では ($F(1,5)=156.50, P<.01$) 減少し、また同じ制御過程での初期段階と後期段階では ($F(1,5)=18.43, P<.01$) また増大していた。この場合、適応制御過程での非適応群の見越反応が減少した理由は I S I の変化による。では、つぎに適応群について同様な検討を行なうと、非適応群と同じ傾向がそれぞれの段階間で見出された。それらを順に表示すると、増大 ($F(1,5)=25.80, P<.01$) →減少 ($F(1,5)=20.58, P<.01$) →増大 ($F(1,5)=17.00, P<.01$) となり、系列位置の効果はどの段階にも認められなかった。これらの結果、見越反応100%から構造パラメータとしての I S I と系列位置の同時変化の導入は、適応制御過程の初期段階で著しい見越反応の減少を招来し系そのものは不安定化した。その後の系列位置の変化部分での見越反応のレベルは、増大しているが、問題は最適制御過程の後期段階と適応制御過程の後期段階の比較である。これまでの調枝(1952)³⁾、(1985)⁴⁾の研究では、いずれも適応制御過程の後期段階で高い見越反応レベルを示していた。それが本研究では、同じレベルであり、「ゆらぎを通しての秩序」の増幅過程は見出されなかった。その原因としては、構造パラメータを複数で変化させたため、ゆらぎが大き過ぎて、系があまりにも不安定になったと考えられる。これらの結果は、高原が述べていた調整適応にあたり、自己組織適応ではない。新しい構造が生じるためには、構造パラメータの変化の大きさが問題になる。

〔誤反応〕 誤反応の結果は Fig. 4 に示してある。これを見てもわかるとおり、誤反応については、両制御過程の各段階において両群間と系列位置に有意な差は認められなかった。

〔無反応〕 つぎに無反応の結果であるが、Fig. 5 がその結果である。まず群間の比較をすると、最適制御過程の初期段階で、適応群の方が非適応群よりも無反応は少なかった ($F(1,5)=27.04, P<.01$)。その後の各段階での群間と系列位置には差は見出されなかった。また群内の検討をすると、非適応群では、最適制御過程の初期段階と後期段階の間で無反応の有意な減少が認められた ($F(1,5)=10.81, P<.05$)。そして、構造パラメータの変化に対しては、転移の初期段階で増大した ($F(1,5)=24.76, P<.01$)。また適応群では、最適制御過程の初期段階と後期段階で増大し ($F(1,5)=9.20, P<.05$)、同じ制御過程の後期段階と適応制御の初期段階で増大し ($F(1,5)=40.40, P<.01$)、さらに同じ制御過程の初期段階と後期段階で減少 ($F(1,5)=188.81, P<.01$) するという経過をたどっていた。系列位置の効果はなく、見越反応の増大や構造パラメータの変化に対応した結果が生起していた。

〔見越反応時間〕 系列パターンの追従課題で最も重要なことは、系列の要素間を予測したり、系列パターンの提示速度を見越したりする能力である。そこで、両制御過程における後期段階での見越反応100%に対する反応時間を検討してみることにした。まず、群間の比較をしてみると、Fig. 6 に示してあるとおり、最適制御過程では適応群の方が非適応群よりも早く反応をしている ($F(1,5)=37.71, P<.01$)。つまり、適応群は100msec~200msec の間で反応しているが、非

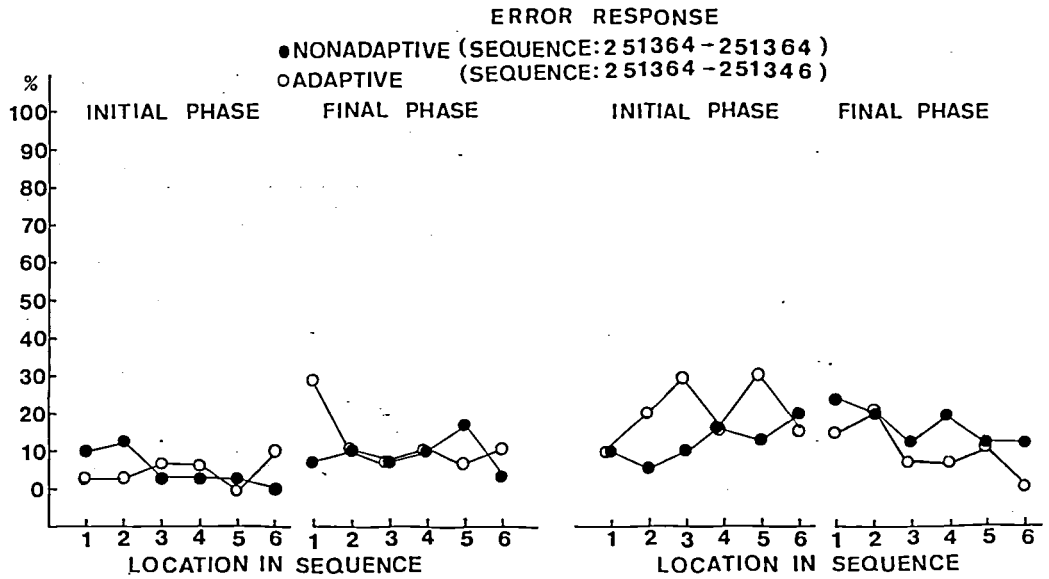


Fig.4 Percentage of error responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

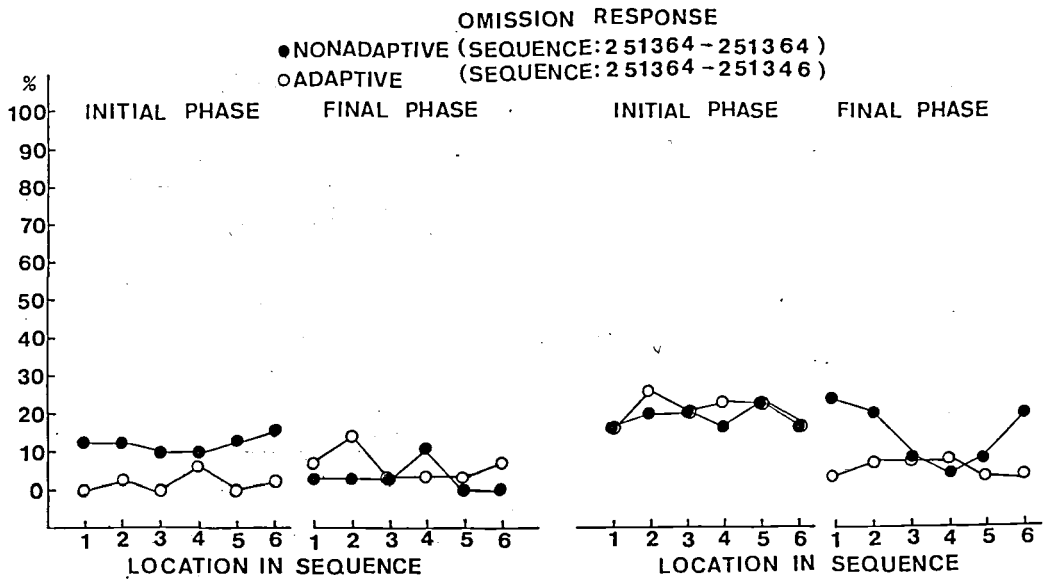


Fig.5 Percentage of omission responses as a function of the location in sequence, given separately for each group.

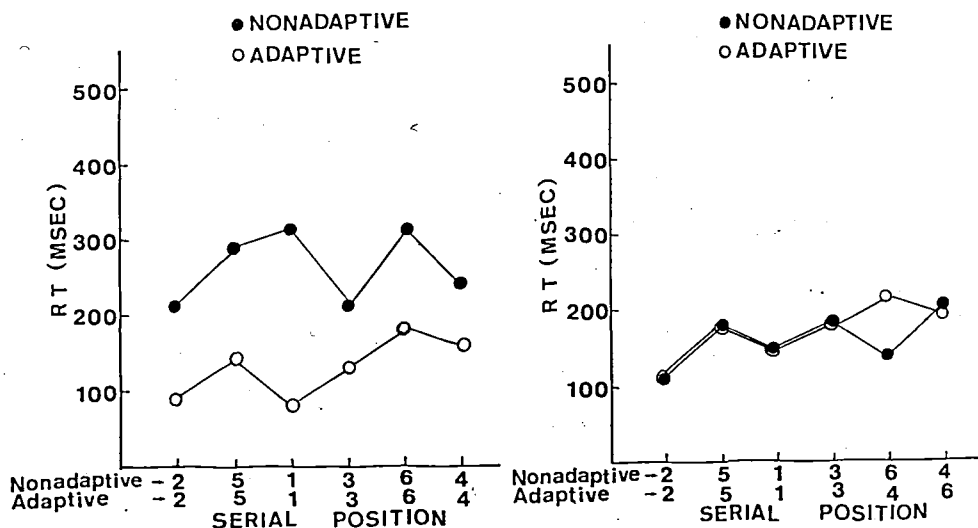


Fig. 6 Mean anticipatory reaction times as a function of the serial position, given separately for each group.

適応群では200msec～300msecの間で反応しているということである。ちなみに、非適応群のISIは500msecであり、適応群のISIは800msecである。つぎに、適応制御過程では両群間と系列位置に関して有意な差は見出されなかった。そして、両群の反応時間は、100msec～200msecの間で見越反応を行っていた。群内の比較では、非適応群が最適制御過程から適応制御過程に経る段階で、有意に反応時間を減少させていた ($F(1,5)=19.3, P<.01$)。また、適応群については、同様な段階で、有意に反応時間を増大させていた ($F(1,5)=50.00, P<.01$)。そして系列位置 ($F(5,5)=24.00, P<.01$) にも有意な効果がみられた。これらは、適応制御過程での反応時間の増大とともに、系列位置の変化は両制御過程でまったく同様なパターンを示していた。

以上のような結果は、これまでの類似の研究結果と一致したものであった。適応制御は構造パラメータの調整を主要な課題とするもので、本研究のように複数の構造パラメータを変化させた場合、やはりネガティブ・フィードバックによる現状維持の機能がみられたことで、適応制御の過程はある程度把握できた。しかし、過去に行なってきた単一の構造パラメータの調整では、「ゆらぎを通しての秩序」の増幅現象が見られ、自己組織適応の機構も無視できない。しかし、この点に関しては調枝(1986)⁹が検討を加えている。また、ゆらぎに関係したノイズ誘起による秩序形成 (noise induced transition) についても調枝他(1986)⁹が問題にしているが、これらの問題は人間の運動学習の制御レベルの段階構造を明らかにする上で今後ますます重要になってくる問題である。

要 約

大学生男子20人に系列パターンの追従課題を与えて、最適制御過程 (習得段階) と適応制御過

程（転移段階）の両制御過程を完全に見越反応で完了するまで追従させた。適応制御過程で構造パラメータとしての I S I のみが変化させられた非適応群と適応制御過程で系列位置と刺激提示間隔（I S I）という構造パラメータの変化のある適応群について、4つのパフォーマンス測度（正反応，見越反応，誤反応，無反応）から両群の適応制御過程を比較検討した。その結果，両群とも最適制御過程の後期段階で，正反応を減少させながら見越反応を増大させ系列パターンの追従課題を達成した。しかし，適応制御過程の初期段階に移行した場合，両群とも見越反応に減少が見られ，とくに複数の構造パラメータの変化のあった適応群では，その低下は著しかった。過去の類似の研究では，構造パラメータは系列位置だけとか I S I だけとかの変化であった。その場合には，その構造パラメータの「変化」部分がゆらぎやノイズの役割を果し，その後「変化」部分での秩序の増幅現象がみられた。しかし本研究では，そのような「ゆらぎを通しての秩序」形成は見られなかった。そのため，ゆらぎやノイズが古い秩序構造に導入され，そのことにより系が不安定になり，新しい構造が形成されるいわゆる自己組織化の適応は，ゆらぎの量やノイズの強さを問題にする必要がある。

参 考 文 献

- 1) Cote, D. O., Williges, B. H., & Williges, R. C. : Augmented feedback in adaptive motor skill training. *Human Factors*, 23, 505-508, 1981.
- 2) 調枝孝治：適応システムにおけるエラー反応の意義. *スポーツ心理学研究*, 第7巻, 第1号, 60-64, 1981.
- 3) 調枝孝治：運動学習における適応過程の分析. *広島大学総合科学部紀要Ⅲ. 情報行動科学研究*, 第6巻, 75-82, 1982.
- 4) 調枝孝治：知覚-運動学習の適応過程-複雑性と相補性. *広島大学総合科学部紀要Ⅵ. 保健体育学研究*, 第3巻, 21-30, 1985.
- 5) 調枝孝治：自己組織系としての人間の運動学習. *広島大学総合科学部紀要Ⅵ. 保健体育学研究*, 第4巻, 11-21, 1986.
- 6) 調枝孝治・橋本晃啓・北村靖治：運動情報の記憶と学習におけるパラドックス. *広島大学総合科学部紀要Ⅵ. 保健体育学研究*, 第4巻, 43-58, 1986.
- 7) 藤井省三：適応制御における最近の動向. *システムと制御*, 第25巻, 715-726, 1981.
- 8) Horsthemke, W., & Lefever, R. : *Noise-induced transitions*. New York : Springer-Verlag. 1984.
- 9) 近藤文治：適応制御の最近の動向. *計測と制御*. 第5巻, 第1号, 12-25, 1966.
- 10) 黒川隆夫・田村博：制御行動における適応と学習. *生物物理*, 第11巻, 第3号, 11-17, 1971.
- 11) Kelley, C. R. : What is adaptive training ? *Human Factors*, 11, 547-556, 1969.
- 12) Lintern, G. : Adaptive training of perceptual-motor skills: issues, results, and future directions. *International Journal Man-Machine Studies*, 10, 521-551, 1978.
- 13) 三浦良一：適応制御系. *計測と制御*, 第9巻, 第5号, 43-53, 1970.
- 14) 鈴木隆：適応制御理論-今後の展開は. *システムと制御*, 第26巻, 第3号, 172-181, 1982.
- 15) 高原康彦：システム論から見た適応, 自己組織化, 学習の概念-組織の創造性と革新性の理解のために-
- *組織科学*, 第19巻, 66-77, 1985.
- 16) Williges, R. C., & Williges, B. H. : Critical variables in adaptive motor skills training. *Human Factors*, 20, 201-214, 1978.